

LA ACUAPONÍA: ALTERNATIVA SUSTENTABLE Y POTENCIAL PARA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS EN MÉXICO

AQUAPONICS: SUSTAINABLE AND POTENTIAL ALTERNATIVE FOR FOOD PRODUCTION IN MEXICO

**Gómez-Merino, F.C.¹; Ortega-López, N.E.¹; Trejo-Téllez, L.I.^{2*}; Sánchez-Páez, R.¹;
Salazar-Marcial, E.¹; Salazar-Ortiz, J.¹**

¹Colegio de Postgraduados *Campus* Córdoba. Carretera Córdoba-Veracruz km. 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946. México. ²Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo. Carretera México-Texcoco Km 36. 5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230. México.

***Autor para correspondencia:** tlibia@colpos.mx

RESUMEN

La acuaponía consiste en la integración de dos métodos de cultivos: la acuicultura, que involucra el cultivo de animales acuáticos, y la hidroponía, para la producción de cultivos vegetales con base en soluciones nutritivas. En este sistema ambos cultivos se benefician con base en principios de reciclaje de agua y aprovechamiento de nutrientes, ya que éstos últimos son excretados por animales acuáticos y aprovechados por las plantas cultivadas en sistemas hidropónicos. El aprovechamiento adicional que hacen las plantas de los desechos acuícolas constituye una ventaja sobresaliente de la acuaponía, pues reduce la contaminación y aumenta la eficiencia del agua, además de reducir el impacto ambiental. La acuaponía permite reducir los costos de producción al hacer un aprovechamiento más eficiente de los recursos, se puede establecer a diferentes escalas de producción, incrementa la rentabilidad económica y diversifica el origen de ingresos financieros. Debido a que México muestra alto potencial para el desarrollo de esta actividad, en esta revisión se analizan las principales oportunidades y desafíos para la producción agroalimentaria a partir de la acuaponía, con una breve descripción sobre los sectores pesquero y acuícola en los contextos nacional e internacional.

Palabras clave: Acuicultura, hidroponía, sistemas de cultivo, sistema de recirculación de agua.

ABSTRACT

Aquaponics consists in the integration of two methods of cultivation: aquaculture, which involves breeding aquatic animals, and hydroponics, for the production of vegetable crops from nutritive solutions. In this system, both products are benefitted from principles of water recycling and use of nutrients, since the latter are excreted by aquatic animals and taken advantage of by the plants cultivated in the hydroponic systems. The additional use that plants make of aquatic wastes constitute an outstanding advantage of aquaponics, since this process reduces pollution and increases water efficiency, in addition to reducing the environmental impact. Aquaponics allows reducing production costs by making a more efficient use of resources; it can be established at different scales of production, it increases economic profitability and diversifies the origin of financial income. Because Mexico shows high potential for the development of this activity, this review analyzes the main opportunities and challenges for food and agriculture production from aquaponics, with a brief description of the fishing and aquatic sectors within national and international contexts.

Keywords: Aquaculture, hydroponics, cultivation systems, water re-circulation system.

INTRODUCCIÓN

La producción pesquera mundial se ha incrementado de forma constante en las últimas cinco décadas y el suministro de peces comestibles ha aumentado a una tasa media anual del 3.2%, superando así la tasa de crecimiento de la población mundial del 1.6% (FAO, 2014) (Figura 1).

El consumo per cápita mundial de pescado aumentó de un promedio de 9.9 kg en el decenio de 1960 a 19.2 kg en 2012 (FAO, 2014) (Cuadro 1). Este incremento notable se ha debido a una combinación de crecimiento demográfico, aumento de los ingresos, urbanización, y se ha visto propiciado por la fuerte expansión de la producción pesquera y mayor eficacia de los canales de distribución (FAO, 2014).

Para el caso de México, esta tendencia pesquera y acuícola representa una oportunidad importante de desarrollo, pues el país cuenta con 11,592 km de

litoral (73% corresponde al Océano Pacífico y 27% al Golfo de México y mar Caribe), con casi 3 millones de km² de zona económica exclusiva, incluyendo 358 mil km² de plataforma continental (Figura 2) (CONAGUA, 2011; INAPESCA, 2013).

Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, en la que destacan cincuenta ríos principales por los que fluye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental de la nación. Por la superficie que abarcan, destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, mientras que por su longitud, son los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta los más sobresalientes. Los ríos Lerma, Nazas y Aguanaval pertenecen a la vertiente interior. En total, el país cuenta con 2.9 millones de hectáreas de aguas interiores (Figura 3) (CONAGUA, 2011; INAPESCA, 2013).

Estas características permiten gran diversidad productiva, ya que incluye cientos de especies de peces, crustáceos, moluscos, equinodermos y algas, con potencial acuícola, tanto para el consumo humano directo, como para la producción de organismos de ornato y la generación de insumos para diversas industrias, incluyendo de energética y farmacéutica. La pesca y la acuicultura son asuntos de seguridad nacional y parte esencial del quehacer económico y social del país. La acuicultura participa en la producción pesquera de México con poco más de 15.8% de la producción nacional. En los últimos doce años, las capturas se han mantenido en un promedio anual de 1.34 millones de toneladas y la acuicultura en un promedio de 239.17 mil toneladas, con una tasa

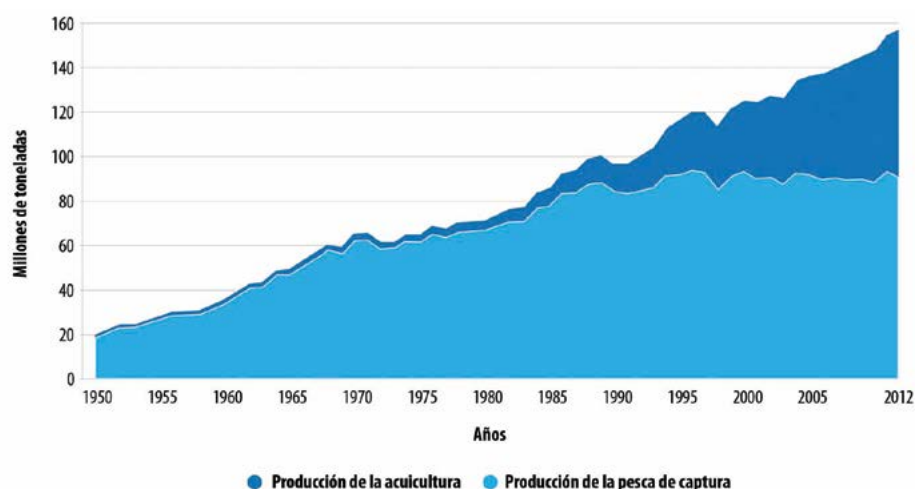


Figura 1. Producción mundial de la pesca y acuicultura de 1950 a 2012 (FAO, 2014).

Cuadro 1. Producción y utilización de la pesca y la acuicultura en el mundo en el periodo 2008-2012 (FAO, 2014).					
Indicador	2008	2009	2010	2011	2012
Producción pesquera	millones de toneladas				
Continental	10.3	10.5	11.3	11.1	11.6
Marítima	79.9	79.6	77.8	82.6	79.7
Total	90.1	90.1	89.1	93.7	91.3
Producción acuícola	millones de toneladas				
Continental	32.4	34.3	36.8	38.7	41.9
Marítima	20.5	21.4	22.3	23.3	24.7
Total acuícola	52.9	55.7	59.0	62.0	66.5
Utilización	millones de toneladas				
Consumo humano	120.9	123.7	128.2	131.2	136.2
Usos no alimentarios	22.2	22.1	19.9	24.5	21.7
Suministro de peces comestibles <i>per cápita</i> (kg)	17.9	18.1	18.5	18.7	19.2



Figura 2. Zona económica exclusiva y plataforma continental de México, en sus vertientes del Océano Pacífico (Pacífico Noroeste, Golfo de California y Pacífico Tropical), Golfo de México y mar Caribe) (CONAGUA, 2011; INAPESCA, 2013).

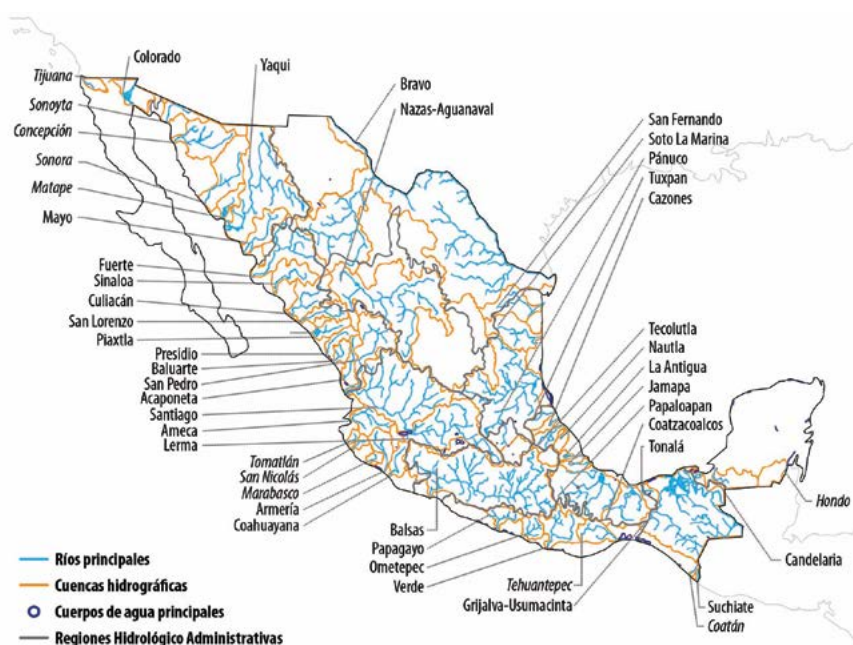


Figura 3. Principales sistemas fluviales de México, con sus cuencas hidrográficas. Los ríos con nombres en cursivas tienen escurrimiento anual medio superficial menor a 1 km³ (CONAGUA, 2011).

media de crecimiento anual de 3.3% (INAPESCA, 2013).

Sin embargo, este crecimiento acelerado del sector, ha ocasionado fuerte presión sobre los recursos agua y suelo, e incrementado el impacto ambiental (Dediu *et al.*, 2011), debido principalmente a gran canti-

dad de desechos que se descargan a las aguas usadas para la producción, y en ocasiones, la cantidad de estos elementos puede asemejarse a la usada para la producción de cultivos hidropónicos (Endut *et al.*, 2010), lo que da pie a diseñar sistemas alternativos de producción, como puede ser la acuaponía.

Para fortalecer y consolidar la actividad pesquera y acuícola, se requiere promover la diversificación y tecnificación de la misma, orientándola a incrementar su eficiencia productiva; reducir los posibles impactos; diversificar las líneas de producción e incrementar la rentabilidad económica y social. El perfil geográfico de México genera una gran diversidad de condiciones climáticas y ecosistemas que contribuyen al desarrollo de un sector acuícola muy diversificado. El ulterior desarrollo de la acuicultura en México dependerá de la aplicación exitosa de tecnologías eficientes y de procesos de innovación, modernización y reconversión productiva (INAPESCA, 2013).

La acuaponía como sistema agroalimentario sustentable

En los sistemas de producción acuapónicos, el agua se encuentra enriquecida con desechos orgánicos producidos por los organismos acuáticos, y son aprovechados como fuente de nutrientes por las plantas. En este contexto, las raíces actúan como biofiltros, lo cual permite "limpiar" el agua para poder usarla nuevamente para los animales acuáticos, resultando en una integración de sistemas acuícola-agrícola (Muñoz-Gutiérrez, 2012) (Figura 4).

Aunque la acuicultura y la hidroponía han sido practicadas desde la antigüedad y en México hay importantes vestigios arqueológicos de ello, la combinación de los dos elementos en la acuaponía es relativamente reciente (Fox *et al.*, 2010). Los primeros reportes en este campo datan de la década de 1970, y hasta la década de 1980 estos **desarrollos** tuvieron limitada aplicación (Muñoz-Gutiérrez, 2012). Fue hasta mediados de la década de 1990 cuando

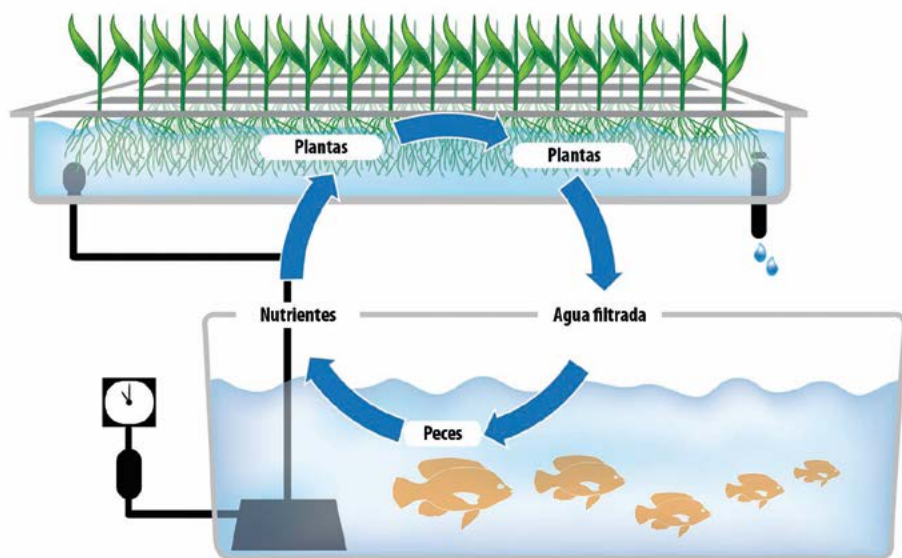


Figura 4. Arreglo típico de los componentes de un sistema acuapónico cerrado con recirculación de agua.

McMurtry *et al.* (1997) desarrollaron el primer sistema acuapónico con tilapias y tomate.

Una de las principales fortalezas de este tipo de tecnología innovadora es que puede ser adaptada a pequeña o gran escala, y a su vez, el espacio que utiliza es mínimo, lo que puede generar un importante impacto socio-económico a nivel local. Esta tecnología surge de la necesidad de solucionar problemas de suministro de alimentos de una forma más acorde con los sistemas naturales (Arroyo-Padilla, 2012), ya que no permite el uso de productos fitosanitarios de síntesis química como bactericidas, fungicidas, in-

secticidas ni herbicidas (Iturbide-Dormon, 2008; Aguilera-Morales *et al.*, 2012; Borrero *et al.*, 2013), y por tanto, los productos obtenidos tienen alto grado de inocuidad, lo que representa una de las formas de producción agrícola más sustentables y respetuosas del medio ambiente (Falcón, 2010; Borrero *et al.*, 2013).

El pez más utilizado en la acuaponía es la tilapia (*Oreochromis spp.*) ya que tiene un ciclo corto desde el nacimiento hasta su aprovechamiento (seis a nueve meses), tolera fluctuaciones drásticas en la calidad del agua y es resistente a bajos niveles de oxígeno (Iturbide-Dormon, 2008; Falcón, 2010). En cuanto a plantas, lechuga (*Lactuca sativa*), espinaca (*Spinacea oleracea*) y albahaca (*Ocimum basilicum*) muestran bajos requerimientos nutrimentales, y pueden establecerse en sistemas acuapónicos sencillos, mientras que hortalizas como tomate

(*Solanum lycopersicum*), pimientos (*Capsicum sp.*) y pepinos (*Cucumis sativus*), requieren mayores suministros nutrimentales, por lo que los sistemas acuapónicos de producción son más complejos (Muñoz-Gutiérrez, 2012).

Situación actual y perspectivas de la acuaponía en México

Actualmente, en diversos países la acuaponía se encuentra en vías de crecimiento y experimentación, aunque cada vez son más los que se suman a su implementación debido a problemas de limitación del agua, así como, a las regulaciones por la disposición de la misma cuando se encuentra contaminada por desechos. La tecnología se ha venido mejorando y adaptando a distintas condiciones relacionadas con el clima, las especies de cultivo, regulaciones legales, costos de producción, entre otras.

En México desde hace varios años se iniciaron pruebas y emprendimientos de sistemas experimentales y granjas comerciales de acuaponía. En la Universidad Autónoma de Guadalajara, desde 2001 se realizan ensayos con sistemas tilapia y langosta australiana en combinación con pepinos, lechugas y tomate (BOFISH, 2014). En el 2004, la empresa Acuicultura del Desierto S. de P. R. de R. L. inició operaciones en Baja California, y produce tilapia y trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en combinación con hortalizas orgánicas y especies aromáticas como albahaca (Falcón, 2010). En el 2005 en el Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora, se desarrolló un sistema de producción acuapónico a pequeña escala para producir tilapia, tomate, pepino europeo, lechuga y forraje verde hidropónico (BOFISH, 2014).

En el año 2006, la empresa BOFISH inicia actividades en Tlaquepaque, Jalisco, cultivando tilapia nilótica, lechuga y albahaca. Actualmente también cultivan fresa (*Fragaria* sp.), tomate cherry, betabel (*Beta vulgaris*), acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*), espinaca, brócoli (*Brassica oleracea italica*), pepino, calabaza (*Cucurbita* sp.), cebollín (*Allium schoenoprasum*), y cilantro (*Coriandrum sativum*) en sustratos como: fibra de coco, musgo o turba, perlita y tezontle (BOFISH, 2014). En 2011, el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) experimentó con éxito en un sistema de recirculación acuícola cultivando tilapia nilótica a una densidad inicial de 30.9 kg m³ y final de 50.7 kg m³, junto con un cultivo de fresa variedad Camarosa (BOFISH, 2014).

En el Instituto Tecnológico de Boca del Río en 2012, se realizó un estudio de producción hidropónica y acuapónica de albahaca y langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*) (Ronzón-Ortega et al., 2012). En el Colegio de Postgraduados se tienen importantes aportes en la materia, ya que en el *Campus* Veracruz se cuenta con un módulo acuapónico donde se evalúan diversas especies aromáticas y hortícolas en paralelo a la producción de tilapias (Campos-Pulido et al., 2013). Además, en el *Campus* Córdoba se ha iniciado la caracterización de los sistemas acuapónicos cerrados y abiertos que se han puesto en marcha en la zona centro del estado de Veracruz.

A pesar de los esfuerzos antes descritos, no existe en México un lenguaje común que permita la comunicación entre los expertos en acuicultura y los expertos en hidroponía, que facilite hacer más eficiente el sistema acuapónico. Un esfuerzo de integración en este sentido, se encuentra bien representado dentro de la Red de Biotecnología para la Agricultura y la Alimentación (BioRed) promovida por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), donde uno de los proyectos aprobados durante 2011 fue el intitulado "Sistemas agroacuícolas ecoeficientes integrados adaptados a diferentes especies y regiones como una alternativa biotecnológica sostenible" (CONACYT, 2014). Por tanto, se requiere la formación de talentos desde el nivel universitario con profesionales que tengan dentro de su perfil conocimientos técnicos de ambas disciplinas que permita su integración. Este primer paso, permitirá consecuentemente impulsar este sector productivo a nivel nacional.

CONCLUSIONES

La acuaponía es una tecnología para la producción de nuevos y mejores alimentos, y a pesar de que se ha venido implementando desde hace varios años en diversos países, aun no es tan reconocida en México. Los cultivos obtenidos, deberían ser de mejor calidad debido a que los nutrimentos que existen en el agua de uso acuícola, son mayores a los del agua de riego. Este tipo de técnicas de cultivo tanto de peces como de hortalizas o plantas de ornato, pueden ser implementadas incluso en azoteas de las casas debido a que se adapta a espacios reducidos. En concordancia con las actuales políticas públicas, específicamente con el programa "Cruzada Nacional contra el hambre", la acuaponía representa una excelente alternativa para combatir la pobreza, el hambre y la malnutrición. Para su implementación, sería recomendable hacer los inventarios de las potencialidades de cada región, llevar a cabo estudios piloto y capacitar personal a todos los niveles. La atención a cerca de 12 millones de connacionales en situación de pobreza extrema y los más de 27 millones en situación de carencia por acceso a la alimentación, obligan a redoblar esfuerzos y encontrar estrategias inteligentes para el apoyo de estos grupos vulnerables. La acuaponía representa una de estas estrategias.

LITERATURA CITADA

- Aguilera-Morales M.E., Hernández-Sánchez F., Mendieta-Sánchez E., Herrera-Fuentes C. 2012. Producción integral sustentable de alimentos. *Ra Ximhai* 8(3): 71-74.
- Arroyo-Padilla J. 2012. Acuaponía. Tepalcates tercera época. Revista de divulgación científica y humanística para profesores y alumnos del CCH. Febrero. 1: 2-7.
- BOFISH 2014. BOFISH. [En línea] Disponible en: http://www.acuaponia.com/?page_id=1057.
- Borrero C., Martínez-Silva M., Baigorri A., Rico L. 2013. Acuapónicos: Una alternativa productiva en el hogar. *FIATMAR Revista Marina* 3(1): 4-5.
- Campos-Pulido R., Alonso-López A., Avalos-de la Cruz D. A., Asiain-Hoyos A., Reta-Mendiola J. L. 2013. Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 939-950.
- CONACYT. 2014. Biored. Red de Biotecnología para la Agricultura y la Alimentación. <http://biored-conacyt.mx/>
- CONAGUA. 2011. Estadísticas del agua en México. Edición 2011. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>
- Dediu L., Cristea V., Xiaoshuan Z. 2011. Evaluation of condition and technological performance of hybrid bester reared in standard and aquaponic system. *Aquaculture, Aquarium, Conservation and Legislation Bioflux* 4(4): 490-498.
- Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan Nik W.B., Hassan A. 2010. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology* 110(5): 1511-1517.

- Falcón E. 2010. Más vida en el desierto. Revista Día Siete. Número 11 Abril de 2010, 502: 40-47.
- FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Oportunidades y desafíos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3720s.pdf>
- Fox B.D., Howerton R., Tamaru C.S. 2010. Construction of automatic bell siphons for backyard aquaponic systems. *Biotechnology* 10: 2-11.
- INAPESCA. 2013. Programa Institucional del INAPESCA 2013-2018. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5356331&fecha=14/08/2014
- Iturbide-Dormon K. 2008. Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala. [En línea]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0157_MT.pdf
- McMurtry M.R., Sanders D.C., Cure J.D., Hodons R.G., Haning B.C., Amand P.C. 1997. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. *Journal of the World Aquaculture Society* 28: 420-428.
- Muñoz-Gutiérrez M.E. 2012. Sistemas de recirculación acuapónicos. *Informador Técnico*. Edición 76. Enero-diciembre 2012. pp. 123-129.
- Ronzón-Ortega M., Hernández-Vergara M.P., Pérez-Rostro C.I. 2012. Hydroponic and aquaponic production of sweet basil (*Ocimum basilicum*) and giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15: S63-S71.

